

PRECISIÓN E INCERTIDUMBRE DE LAS PRECIPITACIONES ESTIMADAS POR MODELOS EN LA ESPAÑA PENINSULAR (1961-2000). VARIACIONES ESPACIALES Y TEMPORALES

Nicola CORTESI¹, José Carlos GONZÁLEZ-HIDALGO¹⁻²,
William CABOS³, Michele BRUNETTI⁴, Martín de LUIS¹⁻²

¹*Depto. de Geografía. Universidad de Zaragoza*

²*IUCA(Instituto universitario Ciencias Ambientales), Universidad Zaragoza*

³*Depto. de Física. Universidad de Alcalá*

⁴*ISAC-CNR, Bologna*

nicolacortesi@ymail.com; jcgh@unizar.es; william.cabos@uah.es; m.brunetti@isac.cnr.it, mdla@unizar.es

RESUMEN

Se presenta un análisis de la validación (periodo 1961-2000) del promedio de las precipitaciones estacionales en la España peninsular simuladas por un ensemble de once modelos climáticos regionales utilizando como condiciones de contorno el reanálisis ERA40. Los modelos seleccionados proceden del proyecto ENSEMBLES. Para su validación se ha empleado la base de datos MOPREDAS, que por su elevada densidad espacial y cubrir un periodo suficientemente largo (1946-2005), es muy adecuada para la validación de simulaciones climáticas regionales de alta resolución. Los resultados sugieren que, en general, los promedios de los modelos analizados producen una razonable distribución espacial y temporal de las precipitaciones en el área central y occidental de la península durante el periodo de invierno, en menor medida en primavera y otoño, y muy poco real en verano; mientras que los resultados obtenidos en la franja de la cornisa cantábrica y la vertiente mediterránea son menos o poco realistas. Se discuten las posibles causas de dicha distribución espacial y temporal, debido a que los diferentes modelos parecen ser capaces de reproducir notablemente el patrón atmosférico NAO muy influyente en el centro-oeste peninsular, pero no otros patrones de importancia en las áreas donde los modelos producen sus peores resultados. Finalmente se consideran algunas de las implicaciones que las predicciones pueden producir donde el ensemble genera peores resultados.

Palabras clave: Precipitaciones; Análisis estacional; Modelos Regionales; Validación, España.

ABSTRACT

A validation analysis of the Spanish peninsular seasonal precipitation at a resolution of 25 km (1961-2000 period) simulated by 11 regional climate models forced with ERA40 lateral boundary conditions is presented. The models derive from the ENSEMBLES project. Validation was conducted using MOPREDAS dataset to take advantage of its high spatial density and its long temporal period covered (1946-2005), necessary for the purpose of validation of high-resolution regional climatic simulations. Results suggest that, generally, the multi-model mean performs better in central and western Spain especially during winter season, and worse during summer and along the Mediterranean fringe. The most probable reasons of such a spatial and temporal distribution are

discussed. All models are able to reproduce the NAO atmospheric pattern, which is especially influent in the central and western Spain, however they fail to reproduce other important patterns, particularly in the areas where the performance of the models is already low. Finally, some implications of model predictions in areas where accuracy is low are discussed.

Key words: Precipitation; Seasonal analyses; Regional Models; Validation; Spain.

1. INTRODUCCIÓN

El estudio del clima global hoy día es posible únicamente con modelos globales acoplados, cuya resolución espacial no permite una evaluación directa de los impactos locales del cambio climático. Esta realidad se observa especialmente en aquellas regiones con una cierta complejidad orográfica y climática, por lo que el análisis de los eventuales impactos del cambio en las escalas regionales se tiene que realizar con otras herramientas. Dos métodos distintos se han propuesto con este fin (Jacob, 2009) basados en una filosofía completamente distinta: los métodos estadísticos, y los modelos climáticos regionales basados en principios físicos.

En breve síntesis, los modelos climáticos regionales permiten amplificar la señal climática generada por los modelos globales teniendo en cuenta aquellos procesos físicos que localmente no son resueltos por el modelo global, de modo que permiten una mejor representación de la orografía y las características locales de la superficie. Estos modelos han mostrado una mayor capacidad para reproducir las señales climáticas de larga escala proporcionadas por los modelos en los que están anidados, produciendo información climática adicional en regiones costeras y de gran complejidad topográfica (Wang et al., 2004), así como de los procesos climáticos, como la radiación de las nubes y procesos de suelo (Giorgi, 1990), no logrados con los modelos generales.

Numerosos estudios desarrollados con modelos globales acoplados (los empleados en el cuarto informe de IPCC, véase Hegerl et al., 2007), y estudios regionales (Fischer, and Schär, 2010) han identificado el entorno del Mediterráneo como una de las regiones en las que el cambio del clima pudiera ser de mayor magnitud y tener mayores efectos. Estos resultados indican que es de particular importancia comprender la respuesta del sistema climático a los forzamientos de origen humano en tales regiones, en las que se localiza la península Ibérica.

Las precipitaciones son una de las variables climáticas más difíciles de simular a la vez que el elemento del clima de mayor relevancia en la España peninsular por su modesta cuantía y su extraordinaria variabilidad en el espacio y tiempo. Las dificultades para realizar su simulación están muy ligadas a las limitaciones actuales que existen sobre los procesos que influyen en su evolución y modelización. En las latitudes medias se han identificado los principales mecanismos responsables de los cambios esperados en las precipitaciones proyectados por los modelos (Rowell y Jones, 2006; Kendon y Rowell, 2010). Esos mecanismos son complejos e implican el aumento de la capacidad de absorber vapor de agua de la atmósfera con el incremento de la temperatura (Ingram, 2002), la dinámica de larga escala (Emori y Brown, 2005; Boé et al., 2009) tanto en la troposfera (Kenawy et al., 2011) como en la estratosfera (Lopez-Bustins et al., 2007), la interacción atmósfera-superficie a través de la humedad del suelo (Seneviratne et al., 2010) y los procesos convectivos de mesoescala (Martín et al., 2007; Cohuet et al., 2011). Algunas de las incertidumbres de la precipitación simulada por los modelos se relacionan con dichos factores, con la resolución espacial en la que se utilizan actualmente los modelos regionales, y con el hecho de

que muchos de ellos son hidrostáticos. De este modo, los modelos no permiten una simulación explícita de las nubes y en muchos casos de los procesos convectivos, pese a que la precipitación simulada depende fuertemente de la parametrización de la convección y de la microfísica de las nubes, por lo que la precipitación convectiva de los modelos regionales depende de las diferentes parametrizaciones de estos procesos (DeMott et al., 2007), hasta el punto de que puede cambiar el signo de la realimentación entre la precipitación y la humedad del suelo (Hohenegger et al., 2009).

Es sabido que los modelos climáticos regionales, aun forzados por el mismo modelo global, muestran una gran dispersión en sus resultados. Esta razón explica que para estimar las incertidumbres y su origen se hayan desarrollado proyectos como PRUDENCE y ENSEMBLES, cuyos resultados indican que en Europa la importancia de los mecanismos involucrados en los modelos arriba enumerados varía según la región y estación (O’Gorman y Schneider, 2009). Así, por ejemplo, el proyecto ENSEMBLES (Déqué et al., 2012) llevó a cabo simulaciones con 19 modelos regionales de distintas instituciones europeas, resoluciones de 50 y 25 km, y forzados con el reanálisis ERA40 y diferentes escenarios.

En general el entorno europeo del Mediterráneo es una región particularmente difícil para el modelado climático. Por ejemplo, la predicción estacional tiene en general un skill pequeño (Palmer et al., 2008) y los resultados obtenidos en las proyecciones de cambio climático muestran una gran dispersión y baja relación señal/ruido (Hawkins y Sutton, 2009). La península Ibérica es una de las regiones donde se manifiestan más claramente las dificultades por su gran variedad topográfica, su extensa zona costera y su situación geográfica.

Finalmente, las incertidumbres detectadas en los modelos regionales climáticos sugieren que las predicciones futuras de precipitación deberían estar avaladas de una validación previa que se debería de realizar durante un periodo histórico suficientemente prolongado para evitar las fluctuaciones aleatorias, captar las posibles tendencias y describir la variabilidad espacial. Para ello es indispensable contar con datos de registros lo más precisos posibles, de la máxima calidad y con una densidad elevada.

En este trabajo analizamos el promedio de la precipitación simulada por 11 modelos climáticos regionales procedentes del proyecto ENSEMBLES. Las simulaciones analizadas aquí son forzadas por condiciones de contorno laterales tomadas del reanálisis ERA40. Para validar sus resultados hemos utilizado los datos interpolados de la base de datos de precipitaciones mensuales MOPREDAS, tras su interpolación a la red de 25 km de CRU.

2. MÉTODO

2.1. Modelos

Los 11 modelos climáticos regionales del proyecto ENSEMBLES utilizados en este trabajo se diferencian tanto en su núcleo dinámico como en la parametrización de los procesos físicos. Algunos de ellos comparten el núcleo dinámico o la parametrización física, lo que puede influir en las diferencias y semejanzas de las precipitaciones simuladas. Los modelos analizados se listan en la Tabla 1 con sus características generales; información detallada de los mismos se encuentra en Deque et al., (2012). El periodo de simulación es 1961-2000.

Modelo	Niveles	Dinámica	Convección y microfísica	Superficie y suelo
CNRM ALADIN	31	Hidrostático.espectral semi-implícita y semi-Lagrangiana	Flujo de masa según Bougeault, esquema de nubes según Ricard and Royer, precipitación de larga escala según Smith	SURFEX
C4I RCA	31	Hidrostático. Núcleo dinámico HIRHLM	Parametrización del ECMWF	ECMWF
DMI HIRHAM	31	Hidrostático. Semi-implícita y semi-lagrangiana	Parametrizacion de ECHAM4	
ETHZ CLM	32	Nohidrostático Núcleo dinámico LM del Servicio Meteorológico Alemán (DWD)	Parametrizacion de ECHAM4	TERRA
ICTP RegCM	34	Hidrostático esquema explícito separado	Flujo de masa según Grell. Conveccion según Anthes	BATS
KNMI RACMO	40	Hidrostático. Semi-implícita y semi-lagrangiana (HIRLAM)	Parametrización del ECMWF	ECMWF
METNO HIRHAM	31	Hidrostático. Semi-implícita y semi-lagrangiana (HIRLAM)	Parametrización de ECHAM4	HIRLAM
METOHC HadRM	19	Hidrostático. Esquema Euleroiano Advectivo	NGregory y Rowntree	MOSES
MPI REMO	27	Hidrostático Núcleo dinámico EM del DWD	Parametrizacion de ECHAM4	
SMHI RCA	24	Hidrostático. Núcleo dinámico HIRLAM	Parametrización HIRLAM modificada	De segunda generación, sin efectos CO2
UCLM PROMES	28	Hidrostático. Esquema explícito separado	Nubes Hsie, Kain y Fritsch. Convección Zhang y Anthes	SECHIVA
OURANOS CRCM	28	Nucleo dinámico ALADIN	Parametrización ALADIN	ISBA

TABLA 1: Características principales de los modelos empleados.

2.2. Base de datos

Para la validación de las simulaciones hemos empleado la base de datos MOPREDAS, que consta de 2670 observatorios cuyas series de precipitación mensual, completas y homogeneizadas, abarcan el periodo 1945-2005 (González-Hidalgo et al., 2011). En el presente trabajo se ha empleado en su formato malla, con resolución de 25 km y periodo 1961-2000. Los análisis previos de tendencias mensuales y estacionales de precipitación de MOPREDAS han mostrado una variabilidad espacial y temporal elevada (González-Hidalgo et al., 2011; de Luis et al., 2010). Excepto Marzo, Junio y Octubre no se han detectado patrones generalizados de tendencias significativas, aunque se han identificado patrones subregionales bien definidos. En Marzo y Junio

se observa una tendencia negativa y significativa en gran parte de España (68.9% y 31.8% del territorio español peninsular, respectivamente), en tanto que en Octubre la tendencia es positiva en el 33.7% del territorio ($p < 0.10$). Los resultados obtenidos muestran que la distribución espacial de las tendencias está fuertemente influenciada por la orografía, siendo las cadenas montañosas el factor más relevante.

2.3. Validación

Para contrastar los resultados del promedio de los 11 modelos climáticos regionales (en adelante Modelo de Referencia) y la precipitación observada durante el periodo de validación, en cada modelo se estimó el error relativo (1), el coeficiente de correlación de Pearson (2) y el coeficiente de variación (3) respecto a la precipitación observada, estimando por último su promedio. Los estadísticos empleados son:

$$(1) \quad E_r(M, m) = \frac{\bar{P}(M, m) - \bar{O}(m)}{\bar{O}(m)}$$

$$(2) \quad \rho(M, m) = \frac{\sigma_{P(M, m)O(m)}}{\sigma_{P(M, m)} \cdot \sigma_{O(m)}}$$

$$(3) \quad CV(M, m) = \frac{1}{\bar{O}(m)} \sqrt{\frac{\sum_{i=1961}^{2000} (P_i(M, m) - O_i(m))^2}{n}}$$

Siendo:

$P(M, m)$ la precipitación estimada por el modelo M y mes m .

$O(m)$ la precipitación observada (MOPREDAS) por el mes m .

\bar{P} el promedio mensual de $P(M, m)$

$\bar{O}(m)$ el promedio mensual de $O(m)$

$\sigma_{P(M, m)O(m)}$ la covarianza de $P(M, m)$ y de $O(m)$.

$\sigma_{P(M, m)}$ la desviación típica de $P(M, m)$

$\sigma_{O(m)}$ la desviación típica de $O(m)$

n el número de años (40)

La precipitación estimada por el Modelo de Referencia es el promedio de la precipitación de los 11 modelos.

3. RESULTADOS

El coeficiente de correlación de Pearson (Figura 1) evidencia en invierno que un promedio de modelos, como lo que representa el Modelo de Referencia, ofrece una alta capacidad ($\rho > 0.8$) de predicción en toda España excepto la costa Mediterránea entre Murcia y Valencia y a lo largo del

valle del Ebro, Sistema Ibérico y Cataluña. Por el contrario durante el verano la precipitación estimada por este método es muy pobre en casi todo el país, y especialmente en Andalucía, Meseta Sur vertiente mediterránea incluyendo el Bajo Ebro (en general valores $\rho < 0.6$). En primavera y otoño presentan una situación intermedia con mejoras en la correlación (ρ 0.6 – 0.8) sobre todo en el centro y oeste de España, que disminuyen en dirección este especialmente en otoño.

El análisis del error relativo (Figura 2) evidencia una tendencia general del Modelo de Referencia a sobrestimar la precipitación estacional durante el verano, mientras en invierno, primavera y otoño la sobrestima se limita a algunos sectores de los Pirineos, Sistema Ibérico, Sistema Bético y Sistema Central. En Galicia, vertiente cantábrica, sur-oeste y costa mediterránea las previsiones del Modelo de Referencia son inferiores a las observadas. Invierno y otoño parecen ser las estaciones en las que este indicador de la bondad del modelo de referencia ofrece espacialmente los resultados menos realistas, y el área sometida a este error por subestimación es superior.

El tercer indicador de validación analizado del Modelo de Referencia, el CV (Figura 3), revela en su distribución espacial dos hechos notables. En general sus resultados son más satisfactorios en Invierno, Primavera y Otoño especialmente en el centro-oeste y norte, y sus peores resultados se producen en verano. En segundo lugar sus valores son menos reales en zonas de montaña respecto al llano, como se puede observar en sus valores más elevados en el Sistema Bético, Sistema Ibérico y Pirineos.

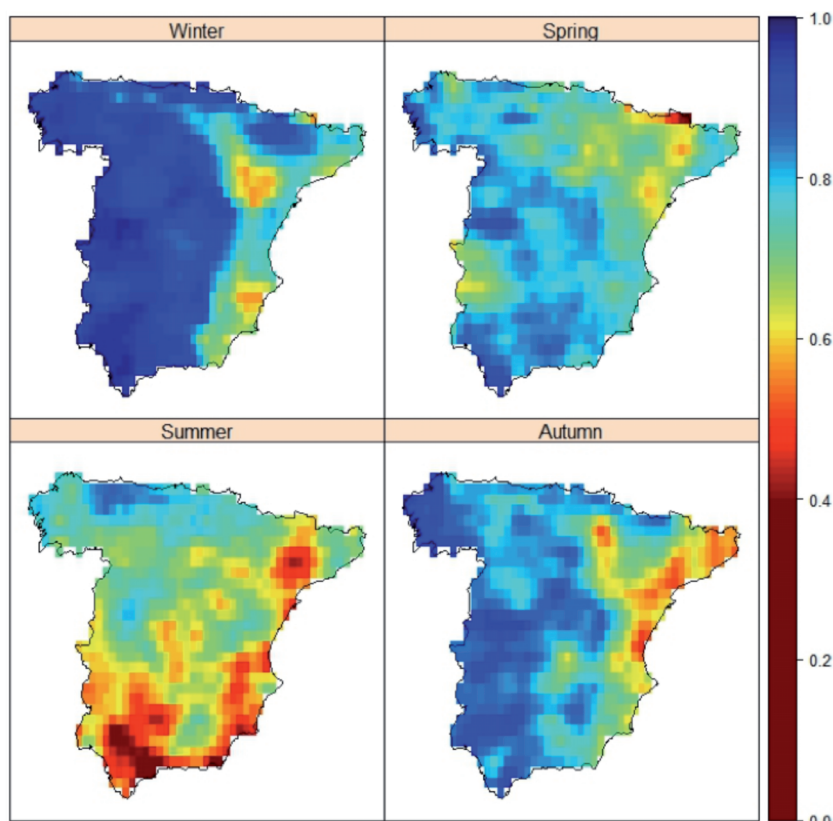


Fig. 1: Coeficiente de correlación de Pearson estacional para el modelo de referencia.

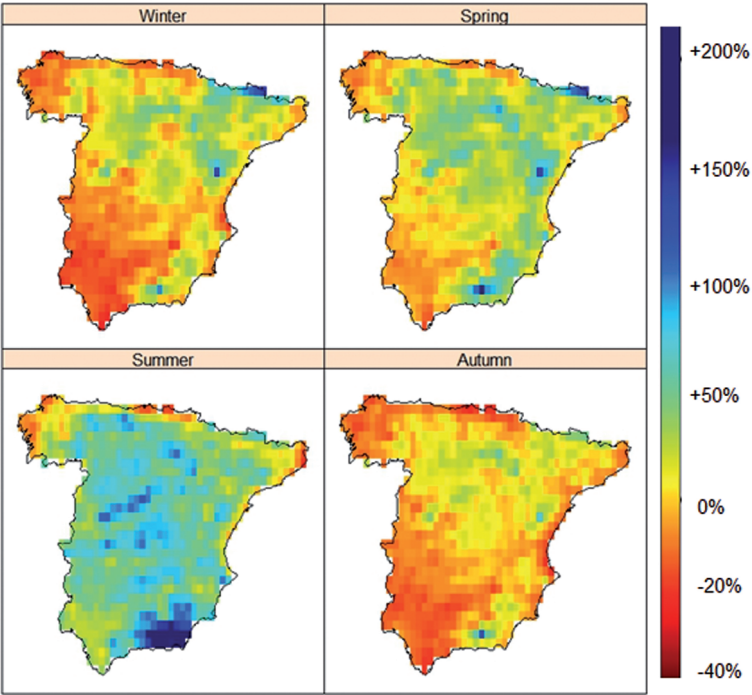


FIG. 2: Error relativo estacional (Er) del modelo de referencia.

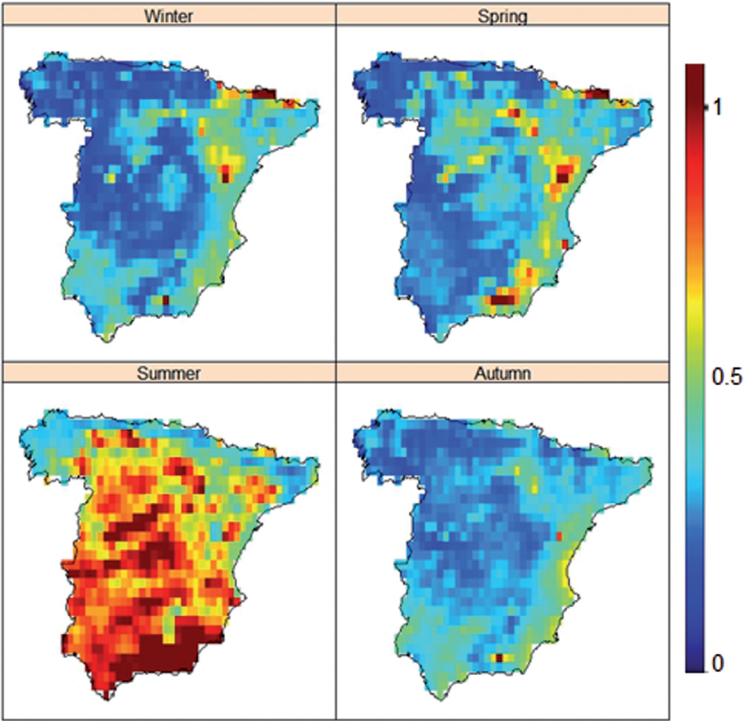


FIG. 3: Coeficiente de Variación (CV) del modelo de referencia

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La variabilidad espacial de las precipitaciones en la España peninsular ha sido puesta de manifiesta en numerosas ocasiones tanto en sus totales y su variabilidad (Martín-Vide, 2004), como en los regímenes estacionales y sus cambios (de Luis et al., 2010), el comportamiento diferenciado de las tendencias mensuales (del Río et al., 2011; González-Hidalgo et al., 2011), etc. Dicha variabilidad se ha atribuido a su posición latitudinal, su localización entre masas de agua contrastadas, la orografía (en especial su disposición frente a los principales movimientos de masas de aire) etc., razones que pudieran ser la causa de que en el conjunto de modelos analizados no se haya producido una validación que pueda tener carácter global, si bien el estudio de los resultados permite sugerir algunas cuestiones de importancia e interés.

En primer lugar el Modelo de Referencia, promedio de los resultados de 11 modelos climáticos regionales, es capaz de producir una razonable precipitación, durante el periodo de contraste, en un espacio claramente definido entre la costa occidental peninsular y el arco montañoso que desde la cordillera Cantábrica, enlazando por el este con el Sistema Ibérico, llega hasta los sistemas Béticos hacia el sur. Esta capacidad de replica del promedio de los modelos empleados es además mucho más notable durante el invierno que en el resto de estaciones, si bien aún sus resultados son apreciables en primavera y otoño. Por el contrario tanto en la costa mediterránea, como en ocasiones la franja cantábrica, y en muchas ocasiones el valle del Ebro, los resultados obtenidos no aportan conclusiones que permitan sugerir confianza en las extrapolaciones al futuro de este Modelo de Referencia, pues son en general muy pobres. Por último, tampoco en las áreas de montaña los resultados de los modelos parecen ser en realistas. Análisis individualizados de los diferentes modelos en estudios futuros quizá sugieran la mejor o peor adecuación de unos u otros según zonas.

Los resultados que hemos mostrado sugieren dos reflexiones debido a la importancia que el agua tiene en el territorio analizado. En primer lugar, la distribución de la precipitación en los modelos se ajusta notablemente al área de influencia del patrón atmosférico NAO; este hecho lo avalan algunos trabajos previos (Paredes et al., 2006; Rodríguez-Puebla et al., 1998) y queda en el presente confirmado por la elevada densidad de datos observados empleados en la validación. Además los mejores resultados se han obtenido cuando el patrón NAO presenta una relación más fuerte con las precipitaciones de la Península Ibérica, es decir invierno, y en menor medida primavera y otoño, también citado como el periodo durante el cual los efectos de NAO son más influyentes en las precipitaciones de la península. En este sentido, la gran similitud entre los valores observados y estimados sugiere que la mayoría de los modelos regionales empleados en este trabajo capturan razonablemente bien dicho patrón atmosférico.

Por el contrario, tanto en la vertiente mediterránea, como en el valle del Ebro y en gran medida en la orla cantábrica, los mediocres resultados de la validación tanto del Modelo de Referencia, como de los 11 modelos regionales (datos no mostrados) sugieren que en estos espacios son otras situaciones atmosféricas las que producen las precipitaciones, y que están mal representadas tanto en los modelos regionales individualmente como en el Modelo de Referencia promedio de aquellos. Entre los patrones atmosféricos relacionados con la precipitación de la península se puede señalar el patrón WeMOI (Martín-Vide y López-Bustins, 2006) con efectos a lo largo de la fachada mediterránea y cantábrica; el patrón Scandinavo (SCAN), localizado en la franja cantábrica (Rodríguez-Puebla et al., 1998; Lorenzo et al., 2008), el Atlántico Este (EA) en el extremo noroccidental (Rodríguez Puebla et al., 1998; Martín et al., 2004), o el denominado East Atlantic/Western Russian (EAWR) también identificado en la franja norte (Vázquez, 2001).

En general las previsiones de los modelos aplicados en una escala continental europea sugieren que las precipitaciones el siglo XXI descenderán en el entorno mediterráneo. Dado que la extrapolación futura de los modelos se fundamenta en la validación con el periodo histórico, los resultados del presente trabajo indican que dichas previsiones en la península, con el promedio de los once modelos regionales analizados, son solamente estimables en un sector muy concreto y con una gradación de su confianza en el tiempo (i.e. estacionalmente). Se necesita por tanto nuevos procesos de validación combinando otros modelos y escenarios al objeto de disminuir la incertidumbre de cualquier predicción. En el momento presente, con los modelos empleados en este trabajo, los resultados sugieren que las predicciones para la franja mediterránea y valle del Ebro son muy poco consistentes. Debido a la concentración de actividades y población en dichas áreas cualquier predicción de las precipitaciones en el futuro debería tomarse con extraordinaria cautela.

Agradecimientos

Financiación: Ministerio de Ciencia e Innovación, Gobierno de España, proyecto Impactos Hidrológicos del Calentamiento Global en España (HIDROCAES) (CGL2011-27574-C02-01). Nicola Cortesi es becario de doctorado del programa FPI del Ministerio de Cultura, (Gobierno de España).

REFERENCIAS

- Boé, J.; Terray, L.; Cassou, C. y Najac, J. (2009). Uncertainties in European summer precipitation changes: role of large scale circulation. *Climate Dynamics*, 33, pp. 265-276.
- Cohuet, J.B.; Romero, R.; Homar, V.; Ducrocq, V. y Ramis, C. (2011). Initiation of a severe thunderstorm over the Mediterranean Sea. *Atmospheric Research*, 100, 4, pp. 603-620.
- Déqué, M.; Somot, S.; Sanchez-Gomez, E.; Goodess, C.; Jacob, D. y Lenderink, G.. (2012). The spread amongst ENSEMBLES regional scenarios: Regional Climate Models, driving General Circulation Models and interannual variability. *Climate Dynamics*, 38, pp. 951-964.
- de Luis, M.; Brunetti, M.; González-Hidalgo, J.C.; Longares, L.A. y Martín-Vide, J. (2010). Changes in seasonal precipitation in the Iberian Peninsula during 1946-2005. *Global Planetary Changes*, 74: 27-33.
- DeMott, C.; Randall, D. y Khairoutdinov, M. (2007). Convective precipitation variability as a tool for general circulation model analysis. *J. Climate*, 20, 91-112.
- del Río, S.; Herrero, L.; Fraile, R. et al. (2011). Spatial distribution of recent trends in Spain (1961-2008). *International Journal of Climatology* 31, pp. 656-667.
- Emori, S. y Brown, S. (2005). Dynamic and thermodynamic change in mean and extreme precipitation under climate change. *Geophys. Res. Lett.* 32, L17706.
- Fischer, E.M. y Schär, C. (2010). Consistent geographical patterns of changes in high-impact European heatwaves. *Nature Geoscience*, 3, 398 - 403.
- Giorgi, F. (1990). Simulation of regional climate using a limited area model nested in general circulation model. *J. Climate*, 3, 941-963.
- González-Hidalgo, J.C.; Brunetti, M. y de Luis, M. (2011). A new tool for monthly precipitation analysis in Spain: MOPREDAS database (Monthly precipitation trends December 1945- November 2005). *International Journal of Climatology*, 31: 715-731.
- Hegerl, G. et al. (2007) *Climate Change: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate*. Cambridge Univ. Press, Cambridge, pp. 664-745.
- Hohenegger, C.; Brockhaus, P.; Bretherton, C. y Schär, C. (2009). The Soil Moisture-Precipitation Feedback in Simulations with Explicit and Parameterized Convection. *J. Climate*, 22, 5003-5020.
- Hawkins E. y Sutton R. (2009). The potential to narrow uncertainty in regional climate predictions. *Bull. Am. Meteor. Soc.*, 90, pp. 1095-1107.

- Ingram, W.J. (2002). On the robustness of the water vapour feedback: GCM vertical resolution and formulation. *J Climate*, 15(9), pp. 917–921
- Jacob, D. (2009). *Regional Climate Models: Linking Global Climate Change to Local Impacts*. Encyclopedia of Complexity and Systems Science. Springer-Verlag.
- Kenawy, A.; López-Moreno, J. y Vicente-Serrano, S. (2012). Trend and variability of surface air temperature in northeastern Spain (1920–2006): Linkage to atmospheric circulation. *Atmospheric Research*, 106, pp. 159–180.
- Kendon, E. y Rowell, D. P. (2010). Mechanisms and reliability of future projected changes in daily precipitation. *Clim. Dyn.*, 35, pp. 489–509.
- Lopez-Bustins, J.A.; Esteban, P.; Labitzke, K. y Langematz, U. (2007). The role of the stratosphere in Iberian Peninsula rainfall: A preliminary approach in February. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 69, pp. 1471–1484.
- Lorenzo, M.N.; Taboada, J.J. y Gimeno, L. (2008). Links between circulation weather types and teleconnection patterns and their influence on precipitation patterns in Galicia (NW Spain). *International Journal of Climatology* 28, pp. 1493–1505.
- Martín, A.; Romero, R.; DeLuque, A.; Alonso, S.; Rigo, T. y Llasat, M. C. (2007). Sensitivities of a Flash Flood Event over Catalonia: A Numerical Analysis. *Monthly Weather Review*, 135, pp. 651–669.
- Martin, ML; Luna, MY; Morata, A; et al. (2004). North atlantic teleconnection patterns of low-frequency variability and their links with springtime precipitation in the western Mediterranean. *International Journal of Climatology* 24, pp. 213–230.
- Martin-Vide, J. (2004). Spatial distribution of a daily precipitation concentration index in peninsular Spain. *International Journal of Climatology* 24, pp. 959–971.
- Martin-Vide, J. Lopez-Bustins, J.A. (2006). The western Mediterranean oscillation and rainfall in the Iberian Peninsula. *International Journal of Climatology* 26, pp. 1455–1475.
- O’Gorman P. y Schneider T. (2009). The physical basis for increases in precipitation extremes in simulations of 21st-century climate change. *PNAS*, 106, pp. 14773–14777.
- Palmer T.N.; Doblas-Reyes F.J.; Weisheimer A.; Rodwell M.J. (2008). Toward seamless prediction: calibration of climate change projections using seasonal forecasts. *Bull. Am. Meteor. Soc.*, 89, pp. 459–470.
- Paredes, D.; Trigo, R.M.; Garcia-Herrera, R., et al. (2006). Understanding precipitation changes in Iberia in early spring: Weather typing and storm-tracking approaches. *Journal of Hydrometeorology* 7, pp. 101–113.
- Rodriguez-Puebla, C.; Encinas, A.H.; Nieto, S.; Garmendia, J. (1998). Spatial and temporal patterns of annual precipitation variability over the Iberian Peninsula. *International Journal of Climatology* 18, pp. 299–316.
- Rowell, D. y Jones, R.G. (2006). Causes and uncertainty of future summer drying over Europe. *Climate Dynamics*, 27, pp. 281–299.
- Seneviratne, S.; Corti, T.; Davin, E.; Hirschi, M.; Jaeger, E.; Lehner, I.; Orlowsky, B. y Teuling, A. (2010). Investigating soil moisture-climate interactions in a changing climate: A review. *Earth Science Reviews*, 99, pp. 125–161.
- Vázquez, L.A. (2001). Circulación atmosférica euroatlántica y precipitación en la Península Ibérica: conexión downscaling y tipificación invernal. En A Pérez-Cueva et al (Eds) *El tiempo del clima*. Publ. AEC, Ser A, 2, pp. 245–254.
- Wang, Y.; Leung, L.R.; McGregor, J.L.; Lee, D.K.; Wang W.C. et al. (2004). Regional climate modelling: progress, challenges and prospects. *J. Meteor. Soc. Japan*, 82, 1599–1628.